

**GAN SERIES COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT AND ITS MANUFACTURING METHOD**

Patent Number: JP8088441  
Publication date: 1996-04-02  
Inventor(s): NAGAHAMA SHINICHI; NAKAMURA SHUJI  
Applicant(s): NICHIA CHEM IND LTD  
Requested Patent: ☐ JP8088441  
Application Number: JP19940222920 19940919  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01S3/18; H01L33/00  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PURPOSE:** To realize an ultraviolet blue-color laser element by providing a novel structure of the element made of a GaN series compound semiconductor and its manufacturing method.

**CONSTITUTION:** A laser element made of a GaN series compound semiconductor has a structure comprising an active layer 5 held between an n- and p-type clad layers 4 and 6 and a current constriction layer 7 of an n- or i-type GaN series compound semiconductor formed on the clad layer 6 opposite to the active layer 5.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-88441

(43) 公開日 平成8年(1996)4月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平6-222920

(22) 出願日 平成6年(1994)9月19日

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

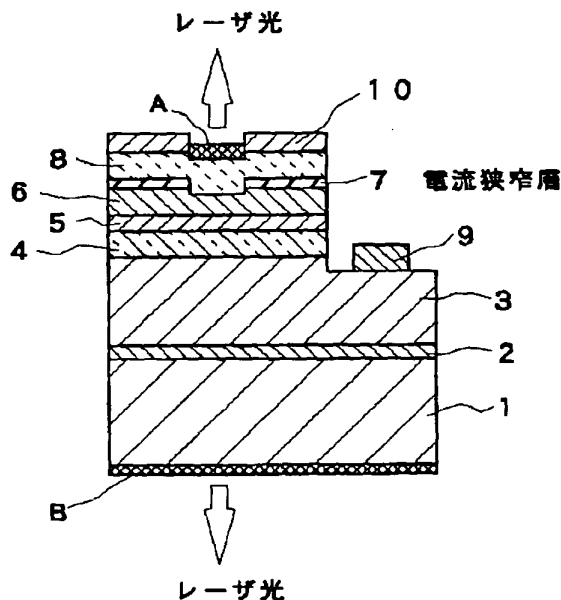
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 窒化ガリウム系化合物半導体を用いたレーザ素子の新規な構造と、その製造方法を提供することにより、紫外、青色レーザ素子を実現する。

【構成】 活性層5がn型クラッド層4とp型クラッド層6とで挟まれた構造を備える窒化ガリウム系化合物半導体よりなるレーザ素子において、前記活性層5よりp型クラッド層6側に、n型またはi型の窒化ガリウム系化合物半導体よりなる電流狭窄層7を備える。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層がn型クラッド層とp型クラッド層とで挟まれた構造を備える窒化ガリウム系化合物半導体よりなるレーザ素子において、前記活性層よりp型クラッド層側に、n型またはi型の窒化ガリウム系化合物半導体よりなる電流狭窄層を備えることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記電流狭窄層が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) よりなることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子。

【請求項3】 レーザ素子の一对の反射鏡の内の少なくとも一方は、酸化物が積層された多層膜とされていることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子。

【請求項4】 基板上に少なくともn型クラッド層と活性層とn型またはi型の窒化ガリウム系化合物半導体層とを形成し、前記n型またはi型の窒化ガリウム系化合物半導体層の一部をエッチングして取り除いた後、そのi型またはn型窒化ガリウム系化合物半導体層を電流狭窄層とすることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体 ( $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ,  $0 \leq a$ ,  $0 \leq b$ ,  $a+b \leq 1$ ) よりなるレーザ素子とその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 紫外、青色のレーザ、LEDの材料に窒化ガリウム系化合物半導体 ( $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ,  $0 \leq a$ ,  $0 \leq b$ ,  $a+b \leq 1$ ) が知られている。LEDについては、最近、光度1cd以上のダブルヘテロ構造を備える青色LEDがこの材料で実用化されたばかりである。一方、レーザについては、II-VI族化合物半導体が超低温で発振したという報告がされているが、窒化ガリウム系化合物半導体では未だ報告されていない。

【0003】 窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子については、従来いくつかの構造が提案されている。例えばUSP5,146,465には活性層をAlGaInよりなる反射鏡で挟んだ構造の面発光型レーザ素子が示されている。また特開平4-213878号公報ではZnO基板上に窒化ガリウム系化合物半導体を積層して、最表面の高抵抗(i型)InGaIn層にSiO<sub>2</sub>よりなる電流狭窄層を設けたレーザ素子が示されており、特開平4-242985号公報には、最表面のp型窒化ガリウム系化合物半導体層にSiO<sub>2</sub>よりなる電流狭窄層を設けたレーザ素子が開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 レーザ素子を実現するには、その素子構造として、p-n接合を有するダブルヘテロ構造と、電流を活性層に集中させるための電流狭

2

窄層が必要である。ダブルヘテロ構造に関しては、従来、種々の窒化ガリウム系化合物半導体ダブルヘテロ構造が提案されていたが、前述のようにダブルヘテロ構造の青色LEDが実現されたことにより、LEDを応用したレーザ素子の現実的な構造が示された。

【0005】 一方、レーザ素子の電流狭窄層としては、前記した公報のように、SiO<sub>2</sub>のような絶縁性材料を最表面の窒化ガリウム系化合物半導体層に形成することしか示されておらず、その他の構造についてはほとんど報告されていない。

【0006】 従って本発明はこのような事情を鑑み成されたもので、その目的とするところは窒化ガリウム系化合物半導体を用いたレーザ素子の新規な構造と、その製造方法を提供することにより、紫外、青色レーザ素子を実現することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明のレーザ素子は、活性層がn型クラッド層とp型クラッド層とで挟まれた構造を備える窒化ガリウム系化合物半導体よりなるレーザ素子において、前記活性層よりp型クラッド層側に、n型またはi型の窒化ガリウム系化合物半導体よりなる電流狭窄層を備えることを特徴とする。

【0008】 さらに、本発明のレーザ素子の製造方法は、基板上に少なくともn型クラッド層と活性層とn型またはi型の窒化ガリウム系化合物半導体層とを形成し、前記n型またはi型の窒化ガリウム系化合物半導体層の一部をエッチングして取り除いた後、そのi型またはn型窒化ガリウム系化合物半導体層を電流狭窄層とすることを特徴とする。

【0009】 図1は本発明のレーザ素子の一構造を示す模式断面図である。素子構造は、サファイアよりなる基板1の表面に、GaNよりなるバッファ層2と、Siドープn型GaNよりなるn型コンタクト層3と、Siドープn型AlGaNよりなるn型クラッド層4と、Siドープn型InGaNよりなる活性層5と、Mgドープp型AlGaNよりなるp型クラッド層6と、ノンドープn型AlGaNよりなる電流狭窄層7と、Mgドープp型GaNよりなるp型コンタクト層8とが順に積層された構造を有している。さらにn型コンタクト層3の表面に負電極9、p型コンタクト層8の表面には正電極10が設けられている。

【0010】 基板1には、サファイアの他、SiC、GaAs、ZnO等の材料が使用可能である。またサファイアもC面、R面、M面、A面等数々の面方位があるが、いずれの面も使用可能である。バッファ層2は基板と窒化ガリウム系化合物半導体との格子定数不整を緩和するために形成されるものであって、GaNの他、AlN、AlGaN等が選択され、500Å程度の膜厚で成長される。

【0011】 n型コンタクト層3はGaNの他、AlG

3

aN、InGa<sub>N</sub>、InAlGa<sub>N</sub>等が形成でき、その中でもGa<sub>N</sub>が最も結晶性がよいものが得られるので、レーザ素子のn型コンタクト層として特に好ましい。またn型にするには、ノンドープの状態、または半導体層成長中にSi、Ge等のドナー不純物をドーピングすることによりn型とすることが可能である。さらにn型コンタクト層3の表面に直接活性層を成長させることにより、このコンタクト層をクラッド層として作用させることもできる。

【0012】次にn型クラッド層4はAlGa<sub>N</sub>の他、InAlGa<sub>N</sub>、InGa<sub>N</sub>、Ga<sub>N</sub>等が形成でき、その中でもAlのGaに対する混晶比(A<sub>1</sub>/Ga)が1以下のAlGa<sub>N</sub>(Ga<sub>N</sub>も含む)が好ましい。なぜなら、AlGa<sub>N</sub>はAlを含む混晶にするに従い結晶性が悪くなる傾向にあり、1以下であると結晶性のよいAlGa<sub>N</sub>が得られてクラッド層として最適であるからである。n型には前述のように、ノンドープか、成長中にドナー不純物がドーピングされてn型とされる。また、コンタクト層をクラッド層として作用させる際には、このクラッド層4は省略することも可能である。

【0013】次に活性層5は、クラッド層よりもバンドギャップの小さい材料を選択する必要がある、InGa<sub>N</sub>、InAlGa<sub>N</sub>等少なくともインジウムを含む窒化ガリウム系化合物半導体を好ましく活性層として形成できる。その中でも特にInのGaに対する混晶比(In/Ga)が1以下のInGa<sub>N</sub>を活性層とすることが好ましい。なぜならこの結晶もまたInを含有させるに従い、結晶性が悪くなる傾向にあるからである。また、In比を1以下とすることにより、好ましいInNのバンド間発光が得られ、発光色を紫外～緑色まで自由に変えることもできる。さらにまた、活性層5はノンドープのn型、もしくはドナー不純物をドーピングしたn型、またはドナー不純物とアクセプター不純物両方をドーピングしたn型が好ましい。ノンドープのn型ではインジウムのバンド間発光が得られ、それにドナー不純物および/またはアクセプター不純物をドーピングしてn型とすることにより、発光中心が増えて発光効率が向上する。従って、最も好ましい活性層は、InのGaに対するモル比が1以下のノンドープのn型InGa<sub>N</sub>か、ドナー不純物および/またはアクセプター不純物がドーピングされたn型InGa<sub>N</sub>である。

【0014】次に、p型クラッド層6はAlGa<sub>N</sub>の他、活性層よりもバンドギャップの大きいInAlGa<sub>N</sub>、InGa<sub>N</sub>、Ga<sub>N</sub>等が形成でき、クラッド層4と同様に、AlのGaに対する混晶比(A<sub>1</sub>/Ga)が1以下のAlGa<sub>N</sub>(Ga<sub>N</sub>も含む)が好ましい。p型にするには、半導体層成長中にアクセプター不純物をドーピングした後、400℃以上、好ましくは600℃以上でアニーリングすることによりp型とできる。アクセプター不純物としては、Mg、Zn、Cd等のII族元素が挙

4

げられ、またC(炭素)もアクセプター不純物として作用する。その中でもMgを好ましい不純物として用いることができる。また、コンタクト層をクラッド層として作用させる場合には、このクラッド層6も省略可能である。

【0015】次に、本発明の特徴とする電流狭窄層7であるが、電流狭窄層7はi型もしくはn型とする必要がある。電流狭窄層7がi型の場合、活性層5よりも上、つまりp型クラッド層6側に形成されていればよく、例えば図1に示すようにp型クラッド層6とp型コンタクト層8との間に形成することも可能であるし、活性層5とp型クラッド層6との間に形成することも可能であり、またp型コンタクト層8と正電極10との間に形成することも可能である。但し、活性層に近い層に形成する方がさらに好ましい。さらにまた、p型クラッド層6、またはp型コンタクト層8の中に中間層として形成することも可能である。一方、電流狭窄層7がn型の場合も同様にp型クラッド層側に形成されていればよく、例えば、図1に示すようなp型クラッド層6とp型コンタクト層8との間、またp型コンタクト層8と正電極10との間、p型コンタクト層8の内部、p型クラッド層6の内部等に形成することができる。但し、活性層5がn型である場合、電流狭窄層もn型であるので、活性層5とp型クラッド層6との間に形成することはできない。

【0016】電流狭窄層7はAlGa<sub>N</sub>の他はInAlGa<sub>N</sub>、InGa<sub>N</sub>、Ga<sub>N</sub>等の材料が形成可能であるが、好ましくはAlGa<sub>N</sub>を形成する。特に前記のようにAlのGaに対する混晶比(A<sub>1</sub>/Ga)が1以下のAlGa<sub>N</sub>を形成することが好ましい。AlGa<sub>N</sub>は活性層およびクラッド層に対して、格子定数のミスマッチが少なく、格子欠陥が少なく結晶性のよい半導体層が実現できるからである。特にクラッド層またはコンタクト層を、少なくともAlを含む窒化ガリウム系化合物半導体とした際には、電流狭窄層をAlGa<sub>N</sub>とすることが最適である。

【0017】n型の電流狭窄層には、前述のようにノンドープの窒化ガリウム系化合物半導体、またはSi、Ge等のドナー不純物をドーピングした窒化ガリウム系化合物半導体が形成でき、i型にはZn、Mg等のアクセプター不純物を適量ドーピングしてi型にした窒化ガリウム系化合物半導体が形成できる。但し、本発明においてi(insulator)型とは抵抗率10<sup>3</sup>Ω・cm以上を指すものとする。

【0018】次にp型コンタクト層8はGa<sub>N</sub>の他、AlGa<sub>N</sub>、InGa<sub>N</sub>、InAlGa<sub>N</sub>等が形成でき、その中でもGa<sub>N</sub>が最も結晶性がよいものが得られ、また電極との接着性もよいため最適である。p型にするには、前記p型クラッド層と同様にアクセプター不純物がドーピングされた半導体層を400℃以上でアニーリングす

ることにより実現できる。また、p型コンタクト層8、p型クラッド層6のいずれかを省略して、コンタクト層およびクラッド層として作用させてもよい。

【0019】さらに、本発明のレーザ素子では、レーザの共振面となる反射鏡の内の少なくとも一方は、酸化物が積層された多層膜とされている。図1では反射鏡はp層側に形成された第一の反射鏡Aと、基板側に形成された第二の反射鏡Bとから成っており、第一の反射鏡Aおよび第二の反射鏡Bを図3に示すような酸化物が積層された多層膜としている。酸化物には例えばSiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>、ITO（インジウム錫酸化物）等が形成され、これらの酸化物を例えばλ/4n（λ：波長、n：材料の屈折率）となる条件で多層に積層して、発光が反射鏡で全反射する条件に設計すれば、面発光レーザが実現できる。

【0020】また、図2は本願の他の実施例を示すレーザ素子の断面図である。これはp層側に形成する第一の反射鏡Cを酸化物の多層膜とし、基板側に形成する第二の反射鏡Dをn型コンタクト層3とn型クラッド層4との間に形成し、その材料を互いに組成比の異なるAlGaInを積層した多層膜としている。このように一方の反射鏡を窒化ガリウム系化合物半導体層内に形成する際には、例えば互いに組成の異なるAlGaIn層を、前記のようにλ/4nとなるように交互に積層して多層膜とすることにより反射鏡とすることができる。この窒化ガリウム系化合物半導体より成る反射鏡は、活性層5とn型コンタクト層3との間、n型コンタクト中であれば、どの層にでも形成可能である。

【0021】次にレーザ素子の製造方法を述べる。本発明ではn型クラッド層および活性層層を形成した後、電流狭窄層となるn型またはi型の窒化ガリウム系化合物半導体層を先に形成した化合物半導体層（活性層、p型クラッド層、p型コンタクト層等）の表面全面に形成する。その次にウェーハを反応容器から取り出し、先ほど形成したn型またはi型の窒化ガリウム系化合物半導体層の一部をエッチングして、電流を集中させるべき部分を露出させる。エッチング後、その電流狭窄層の表面に新たにp型化合物半導体層、電極等を形成することにより、本発明のレーザ素子を得ることができる。

【0022】

【作用】従来のSiO<sub>2</sub>のような絶縁膜を最表面に形成するレーザ素子は、電流が発光層近くで広がってしまうので電流密度が小さくなり、発振での電流が大きくなる。電流が大きくなると発熱量が増大するため常温でのレーザ発振が難しい。一方、本発明ではp型層側にi型またはn型窒化ガリウム系化合物半導体よりなる電流狭窄層を形成しているのので、発光層近くで電流密度を効率よく上げることができ、常温、かつ低電流での発振が可能となる。特に電流狭窄層の組成をAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>In（0 ≤ x ≤ 1）、さらに好ましくはxが0 ≤ x ≤ 0.5の範囲

にあるAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Inを電流狭窄層とすることにより、結晶性のよい電流狭窄層が実現するので、レーザ素子の長寿命化を実現できる。

【0023】電流狭窄層がn型である場合、順方向ではnからpに電流は流れず、p-n接合部に電流を集中させて優れた電流狭窄層として作用する。一方はば、絶縁体であるi型の場合も同様に抵抗率の低い箇所に電流を集中させて優れた電流狭窄層として作用する。

【0024】また図1、図2および図3に示すように、p型コンタクト層表面に形成する第一の反射鏡を酸化物層とすると、波長に応じて容易に反射鏡の膜厚、種類が設計可能となり、また蒸着、スパッタ等のCVD技術を用いれば、膜厚の制御も容易に可能となる。

【0025】

【実施例】

【実施例1】この実施例は図1の構造のレーザ素子を得る例を示しており、図1を元に説明する。まずサファイア基板1のC面（0001）上にGaInよりなるバッファ層2を300オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層2の上にSiをドーブしたn型GaInよりなるn型コンタクト層3を4μmの膜厚で成長させる。次に同じくSiをドーブしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなるn型クラッド層4を0.2μmの膜厚で成長させる。続いてSiをドーブしたn型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる活性層5を0.1μmの膜厚で成長させる。次にMgをドーブしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層よりなるp型クラッド層6を0.2μmで成長させる。次に電流狭窄層として、ノンドープのn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる層を成長させる。

【0026】ノンドープn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層を成長させた後、ウェーハを反応容器から取り出し、n型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層の表面をフォトリソグラフィ技術を用いて部分的にエッチングし、およそ10μmφのp型クラッド層6が露出した電流狭窄層7を形成する。

【0027】電流狭窄層7形成後、ウェーハを再び反応容器に入れ、電流狭窄層7の表面にMgドーブGaInよりなるp型コンタクト層8を成長させる。

【0028】p型コンタクト層8成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、p型コンタクト層のほぼ全面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる多層膜を2層以上蒸着により積層して、同様にフォトリソグラフィ技術を用いて多層膜を所定の形状にして第一の反射鏡Aを作成する。

【0029】一方、サファイア基板側にも同様にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる多層膜を2層以上積層して、第二の反射鏡Bを形成する。

【0030】後は常法に従い、ウェーハにエッチングを行い、負電極9を形成すべきn型コンタクト層を露出させてTi-Alよりなる負電極9を形成し、一方pコンタクト層にもNi-Auよりなる正電極を10を形成した後、チップ状に分離することにより図1に示すような

構造のレーザ素子を得る。

【0031】以上のようにして得たレーザ素子をダイヤモンドヒートシンク上にマウントしてレーザダイオードとしたところ、常温で、しきい値電流100mAにおいて380nmのレーザ光を発振し、40時間以上の連続発振を確認した。

【0032】【実施例2】図4および図5を元に実施例2を説明する。図4は実施例2で得られたレーザ素子の構造を示す模式断面図であり、図5は図4のレーザ素子を電極側から見た平面図である。

【0033】図4に示すように、サファイア基板1のC面にGa<sub>0.8</sub>Nよりなるバッファ層2、Siドープn型Ga<sub>0.8</sub>Nよりなるn型コンタクト層3、Siドープn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなるn型クラッド層4、Siドープn型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるn型活性層5、Mgドープp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなるp型クラッド層6、ノンドープn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる電流狭窄層7、MgドープGa<sub>0.8</sub>Nよりなるp型コンタクト層8を実施例1と同様にして積層する。

【0034】p型コンタクト層8成長後、正電極10をp型コンタクト層8のほぼ全面に形成する。正電極形成後、常法に従ってエッチングを行い、負電極9を形成すべきn型コンタクト層を露出させ、図5に示すような形状で負電極を形成する。

【0035】両電極形成後、ウェーハをチップ状に分離し、分離したチップの両側面に図4の破線に示すような形状でTiO<sub>2</sub>とSiO<sub>2</sub>よりなる多層膜を2層以上積層して第一の反射鏡Eと第二の反射鏡Fとを形成し、レーザ素子とした。

【0036】以上のようにして得たレーザ素子をダイヤモンドヒートシンク上にマウントしてレーザダイオードとしたところ、実施例1と同様に、常温でしきい値電流100mAにおいて380nmのレーザ光を発振し、4

0時間以上の連続発振を確認した。

【0037】

【発明の効果】本発明によれば、i型もしくはn型の窒化ガリウム系化合物半導体よりなる電流狭窄層を活性層とp型層との間に形成しているので、発振の際のしきい値電流が低くなり、発熱量が少なくできるので、常温でのレーザ発振が可能となる。このように、紫外、青色の短波長領域でのレーザ素子は産業上有用である。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】 本発明の一実施例のレーザ素子の構造を示す模式断面図。

【図2】 本発明の他の実施例のレーザ素子の構造を示す模式断面図。

【図3】 図1及び図2の第一の反射鏡の構造を拡大して示す模式断面図。

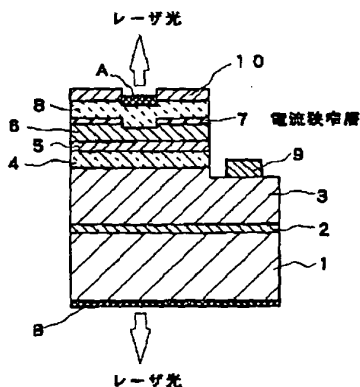
【図4】 本発明の他の実施例のレーザ素子の構造を示す模式断面図。

【図5】 図4のレーザ素子を正電極側から見た平面図。

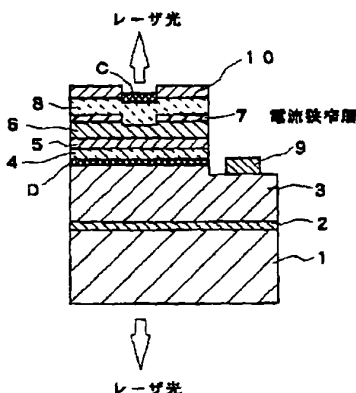
20 【符号の説明】

1・・・サファイア基板	2・・・バッファ層
3・・・n型コンタクト層	4・・・n型クラッド層
5・・・活性層	6・・・p型クラッド層
7・・・電流狭窄層	8・・・p型コンタクト層
9・・・負電極	10・・・正電極
A、C、E・・・第一の反射鏡	B、D、F・・・第二の反射鏡

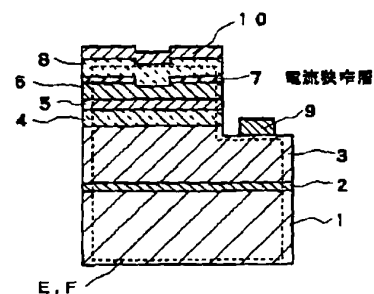
【図1】



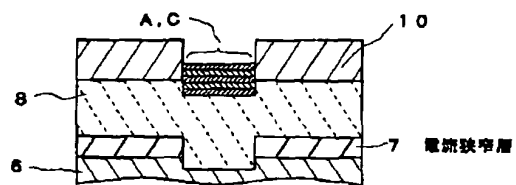
【図2】



【図4】



【図 3】



【図 5】

